



# 目录

## Contents

1	重型龙门铣床概述	1—1
1.1	机床用途:	1—1
1.2	机床主要功能:	1—1
1.3	机床主要性能指标	1—1
1.1	主要附件及供货商	1—2
1.2	世界重型龙门铣床主要生产厂家及概况	1—2
1.3	国内重型龙门铣床主要生产厂家及概况(竞争对手的状况)	1—2
2	系统配置	2—1
2.1	西门子在重型龙门机床应用中的基本配置	2—1
2.2	重型龙门铣床需要的选项功能	2—1
2.3	配置注意事项	2—1
2.4	系统构成框图	2—2
3	功能调试	3—1
3.1	功能 1-----龙门轴功能(Gantry Axes)	3—1
3.1.1	功能描述	3—1
3.1.2	功能实现	3—1
3.1.3	调试注意事项	3—6
3.2	功能 2-----主从轴控制(速度/扭矩耦合)(Master-Slave)	3—7
3.2.1	功能描述	3—7
3.2.2	功能实现	3—8
3.2.3	常用机床数据	3—10
3.2.4	调试注意事项	3—10
3.3	功能 3-----几何轴替换(Replaceable Geometry Axes)	3—11
3.3.1	功能描述	3—11



# 目录

3.3.2	功能实现	3—12
3.3.3	常用机床数据	3—14
3.3.4	调试注意事项	3—15
3.4	功能 4-----设定点交换	3—15
3.4.1	功能描述	3—15
3.4.2	功能实现	3—15
3.4.3	常用机床数据	3—17
3.4.4	调试注意事项	3—18
3.5	调试顺序	3—18
4	性能调试	4—1
4.1	国内机床和国外先进机床的性能指标	4—1
4.2	重型龙门铣床优化要点	4—1
4.3	良好加工状态的轴测试曲线图(Zimmermann FZ32 高壁龙门铣床)	4—2
5	加工	5—1
5.1	典型加工件	5—1
5.2	编程方式	5—1
5.3	常用 CNC 指令	5—1
5.4	试切件关注点(如何判断优劣)	5—2
6	附录:	6—2
6.1	常用术语	6—2
6.2	重型龙门铣床样本(国外和国内)	6—2
6.3	参考文献	6—3

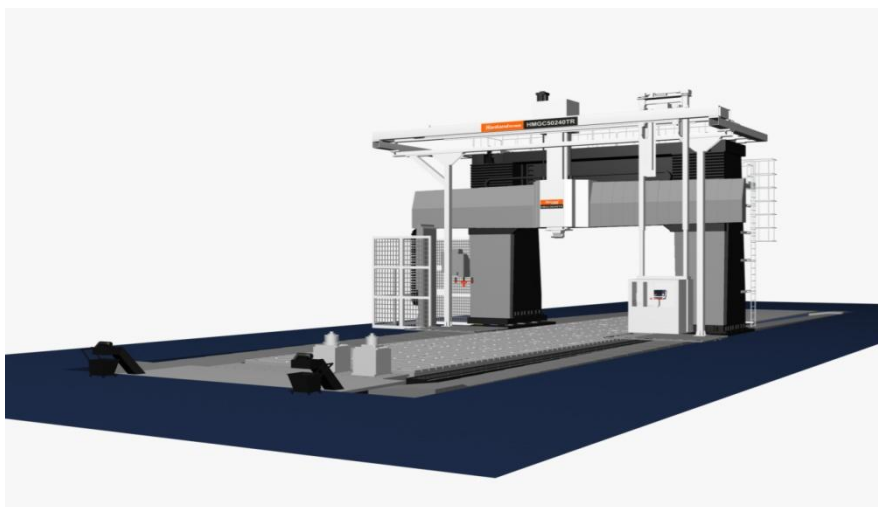
# 1 重型龙门铣床概述

龙门式铣床是指床身水平布置，其两侧的立柱和连接梁构成门架的铣床，铣头装在横

梁和立柱上，可沿其导轨移动。通常横梁可沿立柱导轨垂向移动，工作台可沿床身导轨纵向移动。

一般地，机床自身重量大于 30 吨的均属于重型机床，大于 100 吨的为超重型机床。

龙门式铣床又分为龙门架移动式和工作台移动式两种，而龙门架移动式又可细分为落地式和  
高架式两种类型。五轴龙门加工中心是龙门式铣床的一种特例。



## 1.1 机床用途:

重型龙门数控铣床主要用于大型、特大型零件铣加工，用于国防军工、航空航天、船舶、能源（火电、水电、核电、风力发电）、交通运输（铁路、汽车）、冶金、工程机械等主要工业支柱产业。如今更广泛用于模具及机床行业的大型金属零件的各种平面铣削：如水平面、垂直面、斜面及各种平面组成的导轨面。如对机床进行变型设计，还可以设计成带镗削功能的龙门镗铣床，在横梁上配上磨头还可以进行零件的磨削加工。

## 1.2 机床主要功能:

重型龙门数控铣床具备铣削、钻削（钻、扩、铰）、攻、铣螺纹、镗削等多种加工功能，具备直线、圆弧插补多轴联动或插补功能。机床可完成孔类加工，包括钻、扩、铰；平面以及轮廓的铣削；螺纹加工等；配置附件头后，也可以实现一次装夹，五面的或任意平面的加工；

## 1.3 机床主要性能指标

重型龙门数控铣床的主要性能指标有两类，一类是各进给轴的加速能力和最快速度，尤其是龙门架(龙门架移动式)和工作台(工作台移动式)的快移速度；另一类是机床的定位精度；另外，龙门架的宽度，工作台的最大承重，主轴的最大转速也都属于该类机床的主要技术指标

## 1.1 主要附件及供货商

控制系统：SIEMENS

光栅尺和编码器：海德汉，发格等

轴承：SKF, FAG, INA, NSK等

滚珠丝杆：力士乐，THK

液压件：力士乐

附件：垂直铣头，加长垂直铣头，万能铣头等；

## 1.2 世界重型龙门铣床主要生产厂家及概况

Waldrich Couberg、Schuess、Skoda、Pama 等



## 1.3 国内重型龙门铣床主要生产厂家及概况（竞争对手的状况）

沈阳中捷机床有限公司、武汉重型机床集团、济南二机床集团有限公司、齐齐哈尔二机床集团有限公司等。



## 2 系统配置

### 2.1 西门子在重型龙门机床应用中的基本配置

一般为 X、Y、Z 三轴和一到两个主轴，并配有与 Z 同向伸出轴 W；选配一到两个旋转轴。常规情况下，龙门轴或工作台轴是由多电机驱动。西门子在该类机床一般常配置 Sinumerik840D sl 系统，西门子提供的直接驱动系统如直线电机、力矩电机在该类产品中得到越来越多的应用。

进给轴 X、Y、Z 的轴高一般在 80 以上，以轴高 100 以上的电机居多；主轴功率至少大于 55kW。

### 2.2 重型龙门铣床需要的选项功能

重型龙门铣床一般需要以下选项功能：

- 01 ) 6FC5800-0AM55-0YB0 垂度补偿 M55(条件：动梁，同时配有 W 轴)
- 02 ) 6FC5800-0AM54-0YB0 双向螺补 M54(条件：未订 M55)
- 03 ) 6FC5800-0AM03-0YB0 主从控制 M03(条件：多电机驱动齿轮齿条或主轴)
- 04 ) 6FC5800-0AM02-0YB0 龙门轴 M02(条件：必须的选项)
- 05 ) 6FC5800-0AM05-0YB0 设定点(指令值)交换 M05(条件：带多附件头)

### 2.3 配置注意事项

2.3.1.1 进给轴电机尽量选配 1FT 系列电机，一方面因为高速时的扭矩保持较 1FK7

要好；另一方面同等规格的电机，1FT 系列的电机的惯量也较大些；这两方面都有利于机床轴获得较好的传动刚性和动态性能。而即使相应的成本增加，这样做也是值得的。

2.3.1.2 主轴的机械扭转刚性要求较高，一般以齿轮传动居多，不主张采用同步带传动；电机的机械结构为 IM B35 的形式。

2.3.1.3 由于机床较大，进给轴行程长，因此最好配置全闭环(光栅尺)以保证控制精度。

## 2.4 系统构成框图

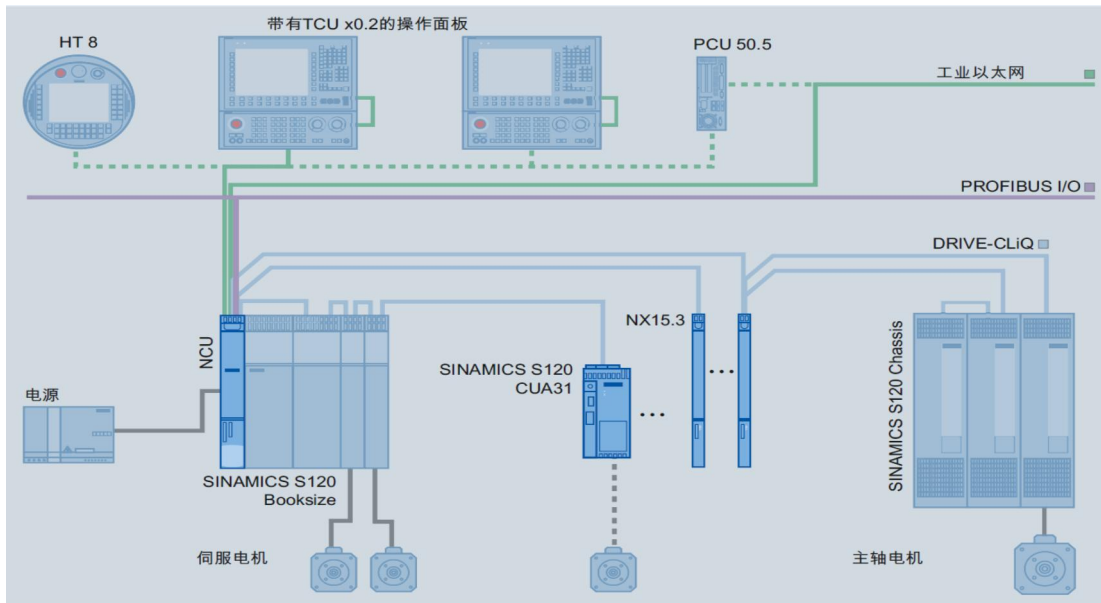


图2-1 SINUMERIK 840D sl 完整系统的典型拓扑结构

## 3 功能调试

### 3.1 功能1-----龙门轴功能(GANTRY AXES)

#### 3.1.1 功能描述

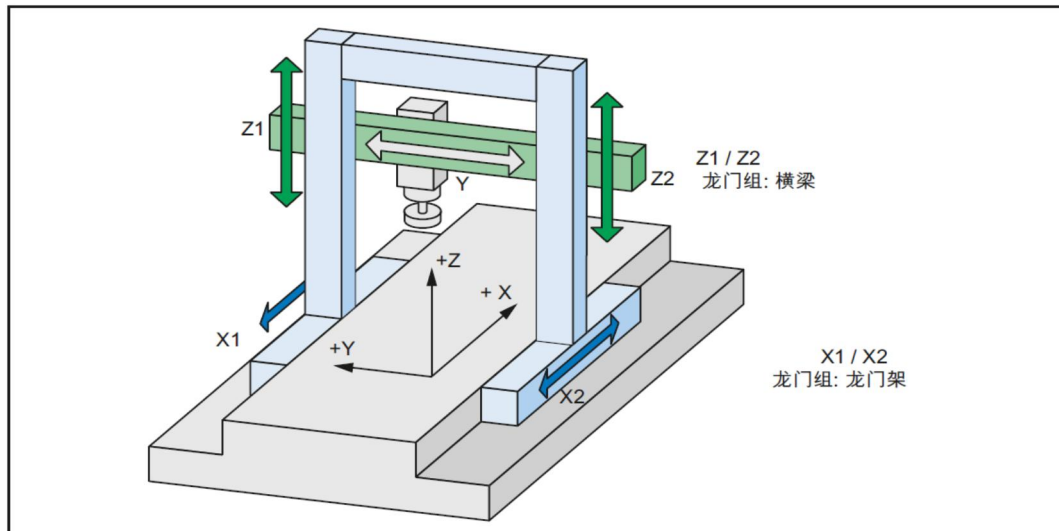


图3-1 举例: 带龙门架和横梁的龙门铣床

对于龙门机床来说, 诸如龙门架和横梁这样的机床部件均是由若干个平行运动的轴拖动的, 这样的一些共同拖动某个机床部件的平行的轴就会被设计成龙门轴或龙门组, 因为机械结构的特点, 这些轴彼此都是在机械上刚性连接在一起的, 所以它们势必得始终同步移动。

龙门轴的三个重要概念: 1、引导轴; 2、同步轴; 3、同步误差;

引导轴: 是代表龙门组的轴, 只有这个轴可以被编程来执行移动龙门组的运动;

同步轴: 是由于与引导轴机械上连接在一起, 而被控制自动运行的轴, 一个引导轴原则上可以为其分配任意数量的同步轴;

同步误差: 是指同步轴的实际位置与其参照于引导轴实际位置的理想位置的偏

差; 系统持续监控同步误差, 如果同步误差超过极限值, 会有警告

信息显示, 同时整个龙门组会停止, 同步误差的极限值可以在机床

数据中设定。

#### 3.1.2 功能实现

##### 3.1.2.1 定义龙门组

龙门组的轴由下面的轴参数定义:



MD37100 \$MA_GANTRY_AXIS_TYPE[AX1] = xy	
x	十进制十位位置: 龙门轴的类型 (引导轴或者同步轴)
y	十进制个位位置: 龙门组的识别号

最多可以定义 8 个龙门组，龙门组的识别号(ID)与所分配的轴一致，必须在所有通道和所有 NCU 中是唯一的。

举例：定义一个龙门组其识别号 ID=1，引导轴是 AX1，同步轴是 AX2；

- MD37100 \$MA\_GANTRY\_AXIS\_TYPE[AX1] = 01 (引导轴)
- MD37100 \$MA\_GANTRY\_AXIS\_TYPE[AX2] = 11 (同步轴)

#### 定义龙门组的补充条件：

- 龙门组里不应包含主轴；
- 同步轴不应同时为定位轴；
- 同步轴不应属于某一个变换；
- 同步轴不应是另一个轴耦合组的跟随轴；
- 同步轴不应是另一个轴耦合组的引导轴；
- 龙门组里的所有轴必须为相同类型：直线轴或旋转轴；

**注意：**在一个 SINAMICS S120 驱动单元(CU)上，最多同时允许三个驱动进行优化和测量(速度环优化/函数发生器)，对于耦合连接的驱动多于三个时，建议将驱动分配至多个驱动单元上。

#### 3.1.2.2 返回参考点并执行同步

在调试返回参考点和同步之前，需要做一定的准备工作：

初始设定返回参考点的相关参数，主要是：

MD34080=0

MD34090=0

MD34100=0

设置相关的 PLC 信号

在龙门组返回参考点的过程中，会有一个自动同步的过程，在初次调试时，务必将此自动同步过程取消，信号设置如下：

引导轴 同步轴

DB31, ... DBX29.4 = 0

DB31, ... DBX29.5 = 1 DB31, ... DBX29.4 = 0

NC 确认信号为：

DB31, ... DBB101.4 = 0 DB31, ... DBB101.4 = 0

DB31, ... DBB101.6 = 1 DB31, ... DBB101.6 = 0

DB31, ... DBB101.7 = 1 DB31, ... DBB101.7 = 1

设定龙门组相关的参数

引导轴 同步轴

MD37100 = 1 MD37100 = 11

MD37110 = 0 MD37110 = 0

MD37120 = 1mm MD37120 = 1mm

MD37130 = 100mm MD37130 = 100mm

MD37140 = 0 MD37140 = 0

现在开始调试龙门组的返回参考点和同步过程，操作如下：

·选择“返回参考点”模式；

·启动引导轴的返回参考点；

·等待，直到信息“10654 通道1等待龙门组1的同步启动”；

在此时间点上，NCK 已经准备好引导轴的同步过程并传送此状态到接口信号：

**DB31, ... DBB101.4 = 1 (同步过程准备好启动)**

**DB31, ... DBB101.6 = 1 (引导轴 LA)**

**DB31, ... DBB101.7 = 1 (龙门轴)**

另外，接下来的步骤为：

·复位(按复位按钮)

·读出机床坐标系的数值：

例如：

X=0.941

Y=0.000

XF=0.000

将 X 轴的显示数值取反(或 XF-X)，输入到从动轴的机床参数中：

MD34090 \$MA\_REFP\_MOVE\_DIST\_CORR = -0.941 (参考点偏置/绝对偏置)

**注意：**此参数需要NCK上电才生效，为避免重新再上电，此数值也可输入到参数：

MD34080 \$MA\_REFP\_MOVE\_DIST (参考点距离)

此参数在进行一次MCP复位即可生效

使用修改的参数再次引导轴返回参考点；

等待，直到信息“10654 通道1 等待同步过程启动”出现；

在此时间点上，NCK已经准备好引导轴的同步过程并传送此状态到接口信号：

DB31, ... DBB101.4 = 1 (同步过程准备好启动)  
 DB31, ... DBB101.6 = 1 (引导轴 LA)  
 DB31, ... DBB101.7 = 1 (龙门轴)

检查机床的实际位置，情形A或情形B会出现：

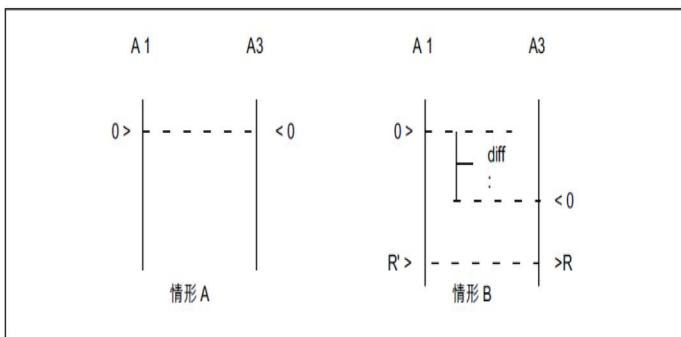


图 3-2 引导轴(主动轴)返参后可能的结果

如果是情形A，可以立即启动同步过程；如果是情形B，那么

首先要计算偏置  $diff$  并设定相应的参数。

测量  $diff$

使用机床床身的两个相应的、成直角的参考点(上图中右边)，位置差可以在JOG模式下进行移动，这个  $diff$  偏置可以通过位置显示的差值予以读出，这个偏置应该设定在同步轴(从动轴)的机

床参数：MD34100 \$MA\_REFP\_SET\_POS 中；

继续进行第一步返参步骤；

启动龙门同步过程，PLC 置位：

DB31. ...DBX29.4(启动龙门同步)

### 3.1.2.3 设定同步误差极限值

同步误差的极限值有两类：一类是龙门预警极限值；另一类是龙门行程极限值；

#### 龙门预警极限值

龙门预警极限值由下面的参数设定

MD37110 \$MA\_GANTRY\_POS\_TOL\_WARNING (龙门预警极限值)

如果同步误差超过龙门预警极限值，会显示信息“警告极限超出”，另外，PLC 信号被置位：

DB31,...DBX101.3=1(龙门预警极限值超出)。

当同步误差低于龙门预警极限值时，信息和 PLC 信号被自动复位。

**注意：**如果不希望显示信息“警告极限超出”，则 MD37110=0。

#### 龙门行程极限值

龙门行程极限值由下面的参数设定：

·对于同步的龙门组

MD37120 \$MA\_GANTRY\_POS\_TOL\_ERROR

·对于未同步的龙门组

MD37130 \$MA\_GANTRY\_POS\_TOL\_REF

当同步误差超过龙门行程极限值时，显示信息“误差极限值超出”，同时，PLC 信号被置位：DB31, ...DBX101.2=1(龙门行程极限值超出)

当龙门组被卡住时(没有控制器使能，龙门组处于“保留”状态)，也显示此信息。

#### 设定同步误差极限值的步骤：

设定机床参数 MD37120 \$MA\_GANTRY\_POS\_TOL\_ERROR(龙门行程误差)等于一个较大的值(比如：1mm 左右)起始；

再设定机床参数 MD37110 \$MA\_GANTRY\_POS\_TOL\_WARNING(龙门预警误差)等于一个很小的值(比如：0.01)起始；然后开始给龙门轴的一侧施加足够强的和突然的应力，以至于报警 10652 反复出现和消失；

现在逐步增加 MD37110 的数值，再重复施加应力，直到报警 10652 不再出现；这是接口信号的状态如下：

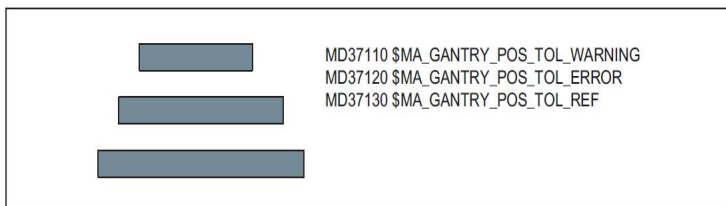
## 3.1 功能1-----龙门轴功能(Gantry Axes)

DB31, ... DBB101.2 = 0 (行程极限未超出)  
 DB31, ... DBB101.3 = 0 (预警极限未超出)  
 DB31, ... DBB101.4 = 0 (同步过程未准备启动)  
 DB31, ... DBB101.5 = 1 (龙门组为同步状态)  
 DB31, ... DBB101.6 = 1 (引导轴 LA)  
 DB31, ... DBB101.7 = 1 (龙门轴)

·设定 MD37120 \$MA\_GANTRY\_POS\_TOL\_ERROR(龙门行程误差)=MD37110

的计算值 + 一个小的数值(约 0.05mm)

同步误差的数值设定情形如下：



**注意：**1)这里涉及的应力不是具有破坏性的；

2)同步误差实践性的设定值：MD37110、MD37120 约为 0.1~0.3mm 左右；

3)龙门架 X 轴的 MD37110 的计算值应适当结合与 Y 轴(横梁)的垂直度要求；

## 3.1.2.4 常用机床数据

参数号	识别符: \$MA	参数说明
30300	IS_ROT_AX	定义旋转轴
32200	POSCTRL_GAIN	K <sub>v</sub> 系数
32400	AX_JERK_ENABLE	使能轴JERK滤波器
32410	AX_JERK_TIME	轴JERK滤波器的时间常数
32420	JOG_AND_POS_JERK_ENABLE	使能手动方式下的轴JERK功能
32430	JOG_AND_POS_MAX_JERK	手动方式下JERK的限制值
32610	VELO_FFW_WEIGHT	速度前馈的加权系数
32620	FFW_MODE	前馈控制模式
32650	AX_INERTIA	力矩前馈的运动惯量
32800	EQUIV_CURRCTRL_TIME	力矩前馈的等效时间常数
32810	EQUIV_SPEEDCTRL_TIME	速度前馈的等效时间常数
32900	DYN_MATCH_ENABLE	使能动态响应匹配
32910	DYN_MATCH_TIME	动态响应匹配的时间常数
33000	FIPO_TYPE	精插补类型
34040	REFP_VELO_SEARCH_MARKER	返参时寻找零标记的速度
34070	REFP_VELO_POS	返参时找到零标记后的定位速度
34080	REFP_MOVE_DIST	参考点的定位距离
34090	REFP_MOVE_DIST_CORR	参考点的零位偏差
34100	REFP_SET_POS	返参后的坐标显示值
34110	REFP_CYCLE_NR	通道回返参的轴顺序号
34330	REFP_STOP_AT_ABS_MARKER	距离编码的光栅尺返参时不带目标定位位置
36012	STOP_LIMIT_FACTOR	精确停的粗/精窗口和静止时的位置容差系数
36030	STANDSTILL_POS_TOL	静止(零速)位置容差
36500	ENC_CHANGE_TOL	位置实际值(或编码器)切换时的最大容差
37100	GANTRY_AXIS_TYPE	龙门轴定义
37110	GANTRY_POS_TOL_WARNING	龙门组的预警误差
37120	GANTRY_POS_TOL_ERROR	龙门组的出错(运行)误差
37130	GANTRY_POS_TOL_REF	龙门组返参时的出错误差
37140	GANTRY_BREAK_UP	龙门轴解除龙门组的耦合关系

## 3.1.3 调试注意事项

龙门轴功能调试时需要注意以下事项：

在整个调试龙门轴的过程中，时刻牢记龙门轴之间是刚性连接的；除此之外，还应注意：



- 1、移动轴速度尽量慢些(倍率低于 10%)；
- 2、调试返参时，注意是在从动轴上设定数值，而且注意符号；
- 3、调试龙门轴时，还应该随时监控龙门组各轴的电流或负载，尤其是在设定误差极限时，以防给机床带来损伤；
- 4、当使用距离编码的光栅尺时，注意是否有镜像，如果有镜像，MD34310=1；
- 5、对龙门轴进行螺距误差补偿时，需要主动轴和从动轴对调；
- 6、手动优化龙门轴时，测量参数中的幅值需设定为主从一致，另外，别忘记在轴选窗口将主从轴全部勾选；如果轴数多于 3 个，需要将多出的轴分配给其它的 CU(NX 板)；

### 3.2 功能 2-----主从轴控制(速度/扭矩耦合)(MASTER-SLAVE)

#### 3.2.1 功能描述

主从控制是在一个主动轴和许多从动轴之间的一个速度指令值的连接，其执行于位置环层面，带和不带扭矩均衡控制；这个连接可以是永久闭合的，也可以是动态的闭合、分开和重新定义的。

主从控制可以用在：

-----增强机械连接的驱动的驱动力；

-----通过引入一个预张紧的扭矩，消除齿轮齿面间的间隙；

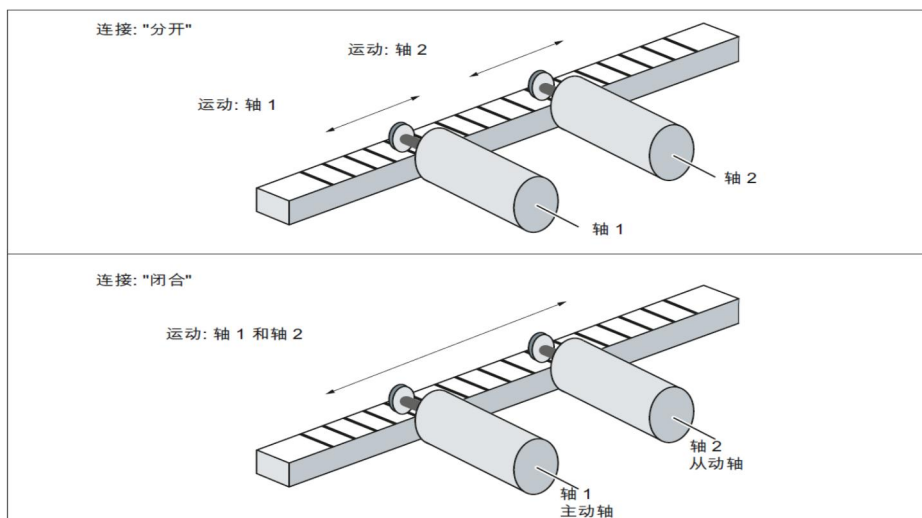


图 3-3 两个轴的动态主从连接

如果连接闭合，从动轴的移动仅仅跟随负载侧主动轴的速度指令，因此对于从动轴来说，只有速度控制，没有位置控制，没有位置环；也没有主从之间的位置差监控和控制。主动轴和从动轴之间需要的扭矩由扭矩均衡控制器分配给主、从轴；当主、从轴使用不同的电机时，这个扭矩分配可以使用一个专门的加权系数来予以匹配。主、从之间的张紧可以通过引入一个额外的扭矩(张力)来建立。具体参见下图：

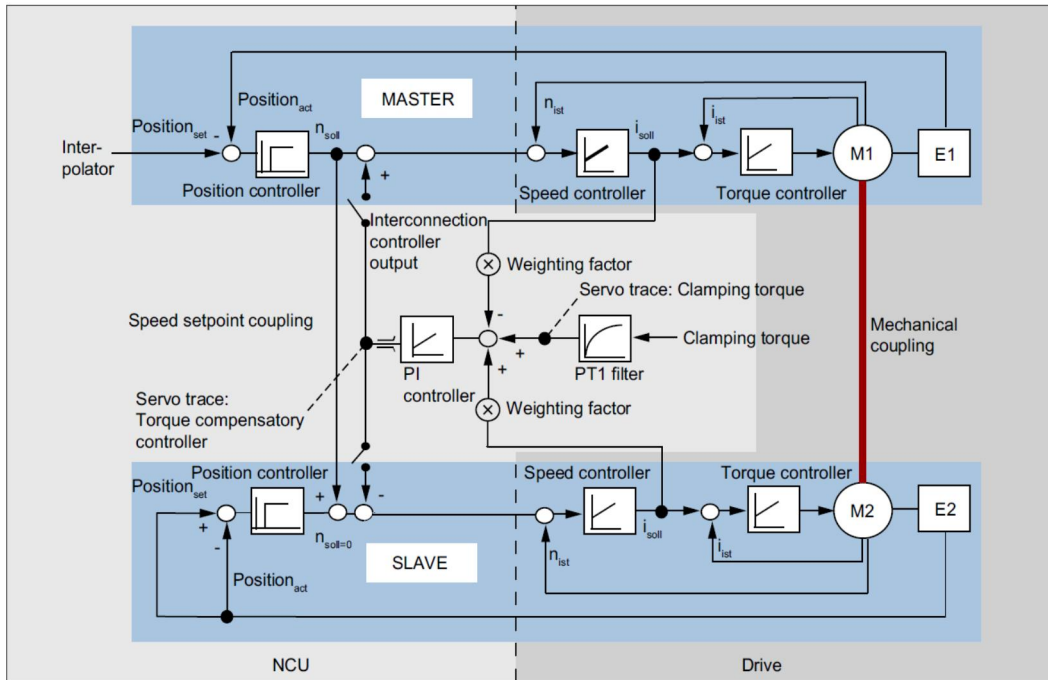


图3-4 控制结构

### 3.2.2 功能实现

主从控制的功能实现分为两种：静态模式和动态模式；静态模式采用机床参数设定(从动轴)的方法；而动态模式采用NC编程指令和PLC置位的方法；

静态模式：（用于多个电机通过齿轮齿条传动的直线或旋转进给轴）

速度指令值连接：

MD37250 \$MA\_MS\_ASSIGN\_MASTER\_SPEED\_CMD[从动轴]=主动轴的机床轴号

扭矩均衡控制：

MD37252 \$MA\_MS\_ASSIGN\_MASTER\_TORQUE\_CTR[从动轴]=主动或从动轴的机床轴号

**注：静态模式时，MD37262 \$MA\_MS\_COUPLING\_ALWAYS\_ACTIVE =1**

动态模式：（用于多个电机驱动的带齿轮变换的主轴或工作台）

编程指令如下：

定义分配：MASLDEF (<从动轴 1> , <从动轴 2> , ... , <主动轴>)

原则上可以分配任意多的从动轴，而且这个分配在

操作模式改变、复位以及程序结束时仍会保持。

删除分配：MASLDEL (<从动轴 1> , <从动轴 2> , ...)

对于由 MASLDEF 定义的动态主从分配，MD37253 的 Bit 1 决定该从动轴的扭矩均衡控制的主动轴是与 MD37250 一致还是与 MD37252 一致。

NC 指令 MASLON 和 MASLOF 用于将由 MASLDEF 定义的主从分配闭合和分开；

PLC 置位地址：DB3x... DBX24. 4-----激活扭矩均衡控制器；

DB3x... DBX24. 7-----激活主从控制；

主从控制主要实现两个功能，其中驱动力倍增功能可藉由上述说明予以实现；而齿轮齿面消除间隙的功能则需要用到扭矩均衡控制器，它是一个 PI 调节器，通过该扭矩均衡控制器引入一个额外的扭矩，既可以在主从之间，也可以在两个从动轴之间实现张力控制。关于张力控制，以下参数需要关注：

MD37253bit 1=1, MD37252 可以设定该从动轴的张力控制的主动轴(可以实现两个从动轴之间的张力控制)；

MD37253 bit 0 =1, MD37256 和 MD37260 的设定计算值与系统插补周期无关(以该驱动的参数 P2003 作为参考值)；

MD37254=1, 如果从动轴的个数多于一个，则需要作此设定；

MD37256≠0, 该设定使得扭矩均衡控制器的 P 控制有效，从而张力控制得以实现；

MD37258≠0, 激活扭矩均衡控制器的 I 控制；

MD37264 设定张力的大小，通常小于 20%；

MD37266 给张力控制的低通滤波器设定时间，可以改变张力施加时的动态特性；

MD37268 扭矩均衡控制器的扭矩分配加权系数；

**注：扭矩均衡控制器同扭矩补偿控制器**

## 3.2.3 常用机床数据

参数号	标识符: \$MA_	说明
37250	MS_ASSIGN_MASTER_SPEED_CMD	设定速度指令值连接的主动轴(机床轴号)
37252	MS_ASSIGN_MASTER_TORQUE_CTR	扭矩均衡控制器作扭矩分配的主动轴
37254	MS_TORQUE_CTRL_MODE	扭矩均衡控制器的输出轴选择
37255	MS_TORQUE_CTRL_ACTIVATION	激活扭矩均衡控制器的方法(MD37254或PLC DB3x.DBX24.4)
37256	MS_TORQUE_CTRL_P_GAIN	扭矩均衡控制器的比例增益系数
37258	MS_TORQUE_CTRL_I_TIME	扭矩均衡控制器的积分时间
37260	MS_MAX_CTRL_VELO	扭矩补偿控制的速度限制
37262	MS_COUPLING_ALWAYS_ACTIVE	主从控制为永久性(静态)模式
37263	MS_SPIND_COUPLING_MODE	主轴作主从控制时的特性
37264	MS_TENSION_TORQUE	主从控制的张力扭矩
37268	MS_TORQUE_WEIGHT_SLAVE	从动轴的扭矩分配加权系数
37270	MS_VELO_TOL_COARSE	主从控制的速度容差"粗"
37272	MS_VELO_TOL_FINE	主从控制的速度容差"细"
37274	MS_MOTION_DIR_REVERSE	颠倒主从控制的运动方向

## 3.2.4 调试注意事项

主从控制需要予以说明的以下几点,可以更加明晰控制的原理、限制和特点:

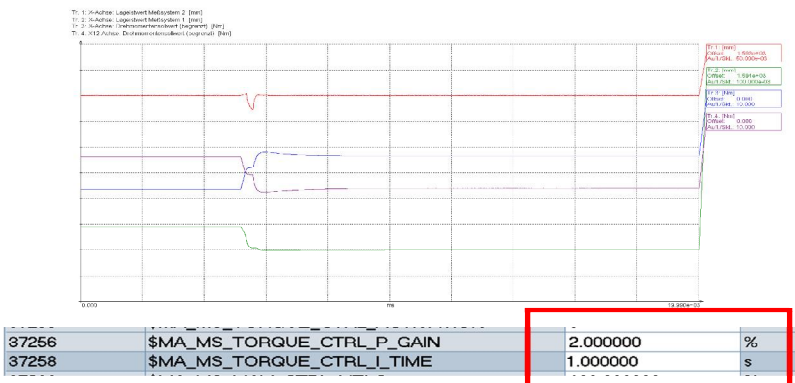
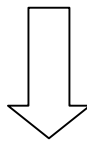
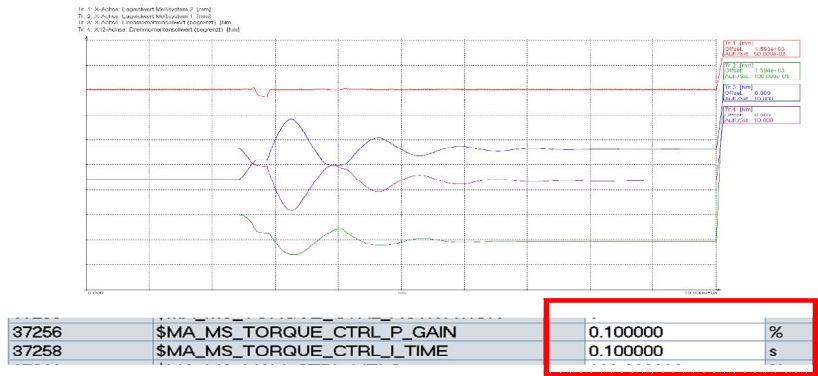
- 一个从动轴只能分配给一个主动轴;
- 一个主动轴可以分配若干个从动轴;
- 一个从动轴不应该同时还是个主动轴(主从不能嵌套),或者不应该同时还处于另一个主从关系中;
- 如果使用扭矩均衡控制器,那么在主动轴和从动轴之间必须要进行机械的连接,否则,主从两个驱动会加速运动起来;
- 如果主动轴和从动轴之间没有刚性的机械连接,那么在使用张力控制时,可能会使得主从拖动的这个轴运动;
- 已经闭合的从动轴的位置指令值相当于其位置实际值;

主从控制的两个功能中,其中驱动力增强(速度指令值的连接)在调试时需要注意的只有参数的设定正确,如:

MD37250/37252、MD37253、MD37254、MD37262 等;而张力控制的调试则需要花费些时间,具体需要注意的为以下几点:

- MD37253 的  $bi\ t0=1$ , 这个设定必须检查,以免后面的张力设定和调试效果迥异;
- PI 调节器必须开通,即 MD37256 $\neq 0$ ;而 MD37258 设定一个不为零的数有助于主从控制的稳定;(重型机床经验数据: MD37256=5, MD37258=2)
- 张力调整的时候,需要使用 IBN Tool 工具,利用伺服跟踪,监控主动轴和从动轴的扭矩指令值信号(下图中第 2、3 条轨迹,蓝色和紫色)见下图:

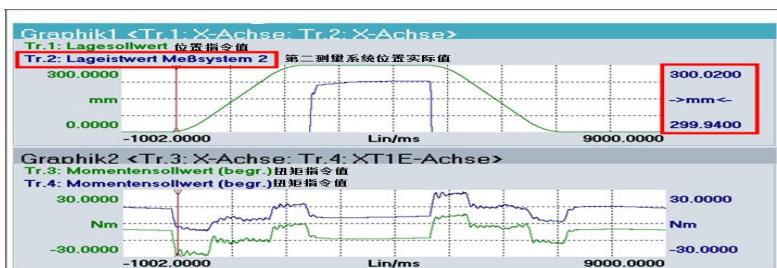
3.3 功能3-----几何轴替换(Replaceable Geometry Axes)



调整张力时，先将 MD37256=0, 并生效；然后改变设定 MD37256 和 MD37258，

再启动 trace，然后再按垂直菜单键“参数生效”使得张力生效，检查 trace 结果，比照上图即可。

主从控制 trace 的正常波形如下所示：



3.3功能3-----几何轴替换(REPLACEABLE GEOMETRY AXES)

3.3.1 功能描述

几何轴替换功能可以使得配置在几何轴组里的几何轴被通道里的其它轴替换，成为新的几何轴，从而用于插补编程指令，如 G1、G2/G3 等。



## 3.3.2 功能实现

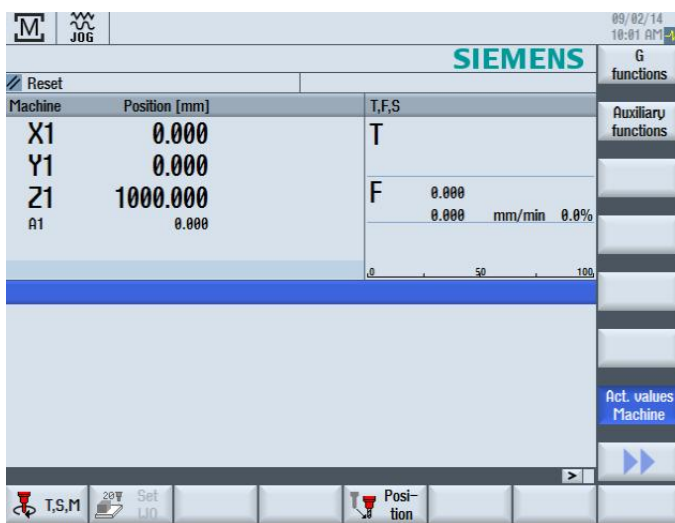
该功能的实现只需使用 NC 编程指令 GEOAX 即可实现，参见下列说明：

GEOAX([n, 通道轴名] ...) 通过该指令可一次性替换多于一个的几何轴。

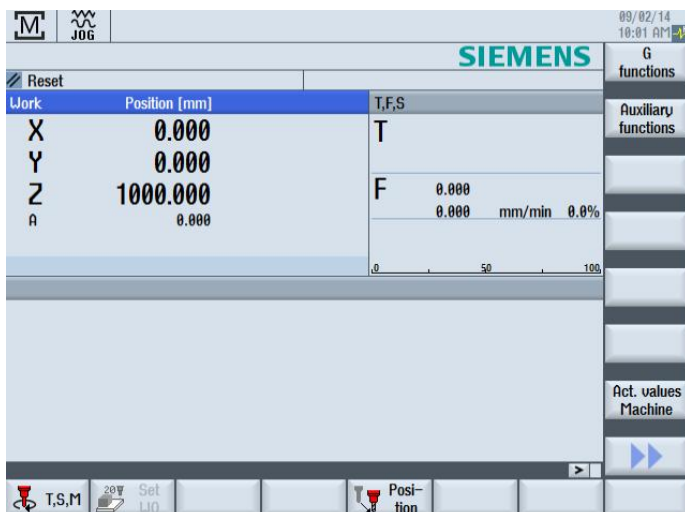
n=0:	从几何轴组中移除一个几何轴。
n=1, 2, 3:	几何轴的索引号
GEOAX():	建立由机床参数定义的通道轴到几何轴的基本分配设定
通道轴名:	通道轴名, 准备作为一个几何轴操作的通道轴。

举例如下：

1) 机床初始设定：X1、Y1、Z1、A1 四个机床轴；

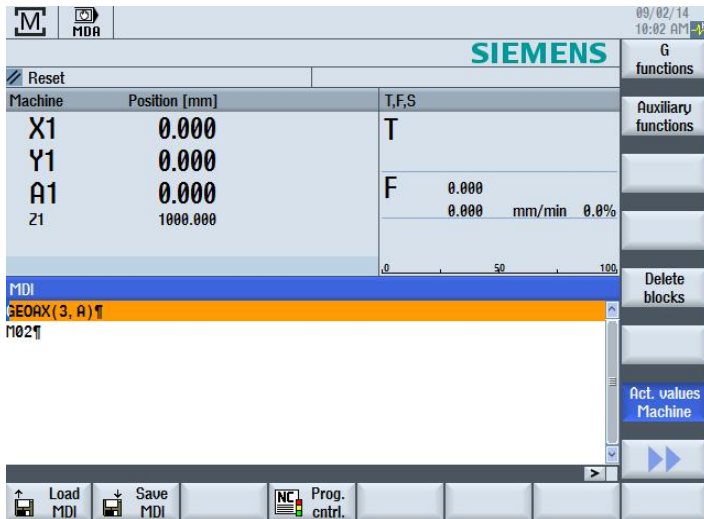


2) 三个几何轴：X、Y、Z

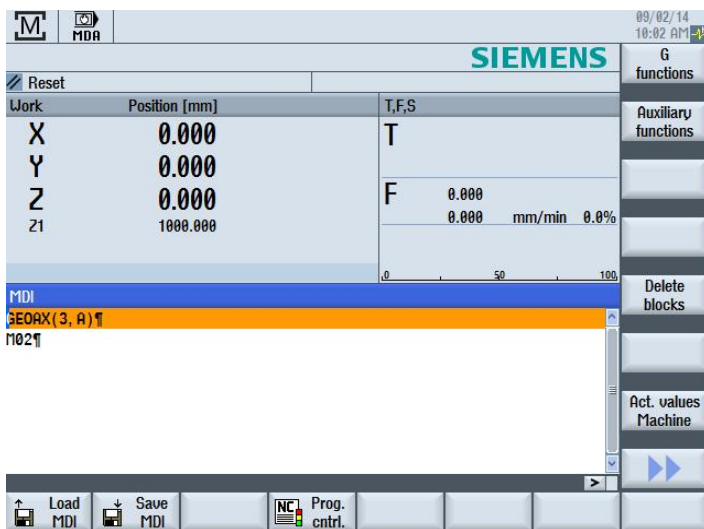


3) 编写几何轴替换指令如下(用 A 轴替换 Z 轴)，执行后机床轴显示如下：

## 3.3 功能3-----几何轴替换(Replaceable Geometry Axes)



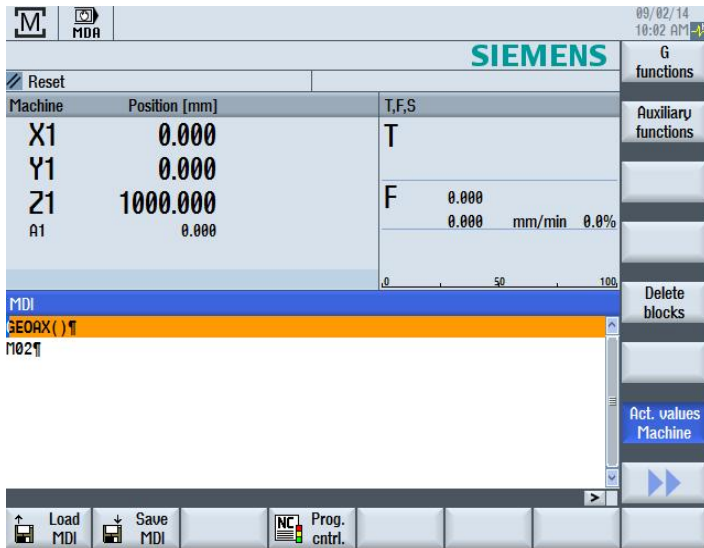
4) 几何轴此时显示如下：



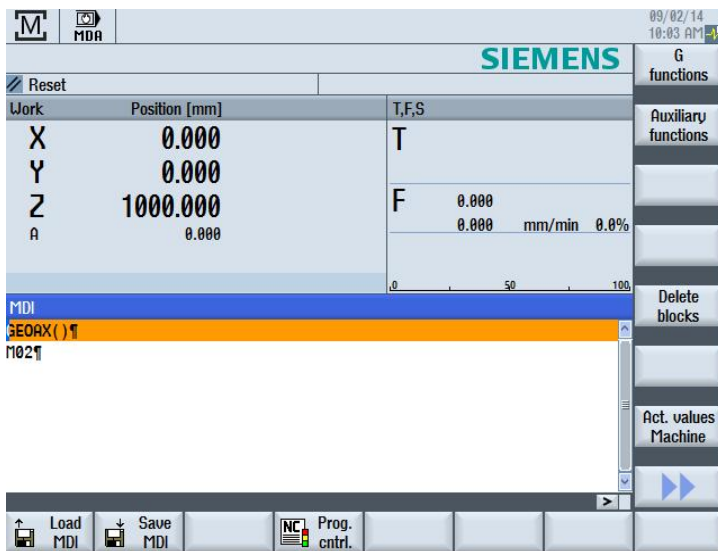
5) 继续编写如下指令，取消几何轴的替换，恢复到由机床参数定义的初始

状态(与1)相同)：

## 3.3 功能3-----几何轴替换(Replaceable Geometry Axes)



6) 此时几何轴显示如下(与 2)相同) :



从以上实例可以看出，几何轴替换功能是一个简单实用的功能，在实际生产当中得到了广泛的应用。

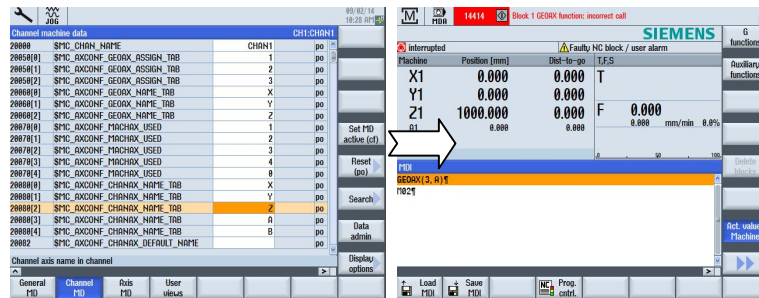
## 3.3.3 常用机床数据

参数号	识别符: \$MC_	说明
20050	AXCONF_GEOAX_ASSIGN_TAB	对通道轴分配几何轴
20060	AXCONF_GEOAX_NAME_TAB	通道中的几何轴名
20070	AXCONF_MACHAX_USED	通道中有效的机床轴号
20080	AXCONF_CHANAX_NAME_TAB	通道中的通道轴名

## 3.3.4 调试注意事项

3.3.4.1 旋转轴不可作为几何轴配置；

3.3.4.2 几何轴名如果与通道轴名相同，则此轴不能使用几何轴替换功能；见下图(会出报警 14414)：



此类轴不能从几何轴组被移除，也不能改变在几何轴组中的位置。

3.3.4.3 几何轴替换后，下列功能不再保持：

---变换；

---刀具半径补偿(已生效的刀具长度补偿会对新晋几何轴保持有效)；

---样条插补；

---刀具精细补偿；

3.3.4.4 任何激活的 DRF 偏置和外部零点偏置在几何轴替换后仍保持有效，因为这些偏置是作用于通道轴的，而通道轴不受几何轴替换的影响；

## 3.4 功能4-----设定点交换

## 3.4.1 功能描述

设定点交换功能用于一套驱动和电机拖动两套或两套以上的机械机构；其中最为典型的应用场合就是机床的主轴，比如：龙门铣床的主轴带不同的铣头。

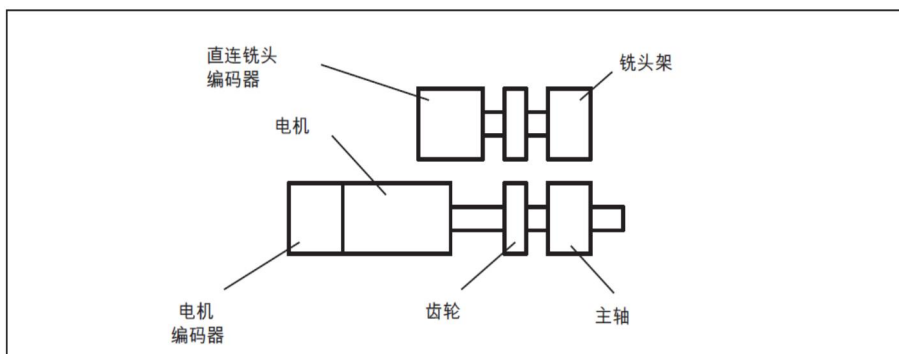


图 3-5 例 1: 1 个电机编码器, 额外的编码器用于铣头

## 3.4.2 功能实现

设定点交换功能的实现由两部分组成：机床参数的设定和 PLC 用户程序；

其中机床参数的设定负责告诉系统，哪些轴参与设定点交换功能；PLC 程序则负责具体执行该功能，按照一定的时序处理相关的 PLC 接口信号。

设定点交换功能使得若干个轴使用同一套驱动；该驱动上的同一个设定点通道分配若干次以定义参与设定点交换的轴，为此，对于每一个参与的轴下面的机床参数必须预先分配同一个逻辑驱动号：

MD30110 \$MA\_CTRLOUT\_MODULE\_NR(设定点分配：模块号)

举例如下图：

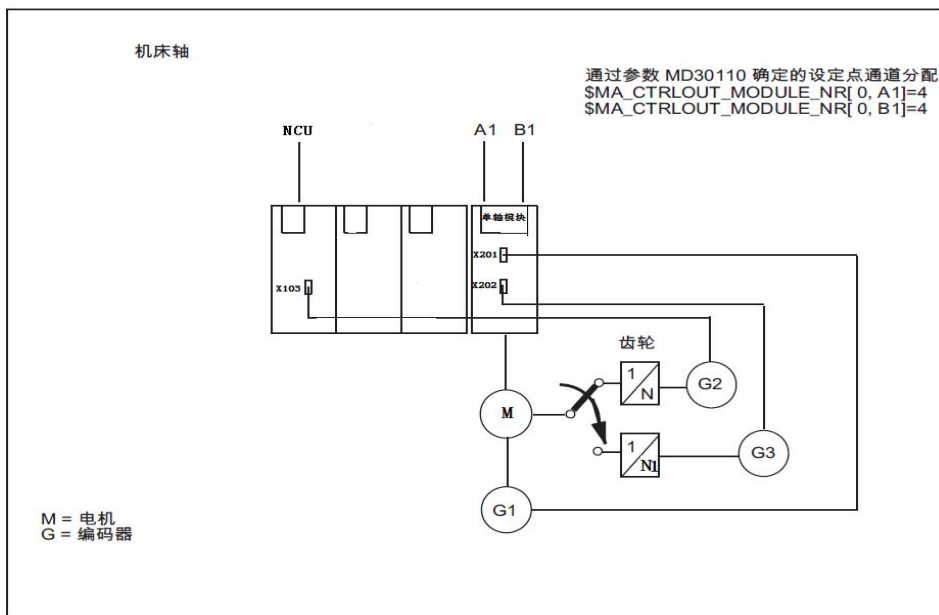


图 3-6 两个轴的设定点交换

#### 3.4.2.1 机床参数设定：

参数	A1 轴	B1 轴
MD30110 \$MA_CTRLOUT_MODULE_NR	4	4
MD30130 \$MA_CTRLOUT_TYPE	1	1
MD30200 \$MA_NUM_ENCS	2	2
MD30200 \$MA_ENC_MODULE_NR[0]	4	4
MD30200 \$MA_ENC_MODULE_NR[1]	3	4
MD30230 \$MA_ENC_INPUT_NR[0]	1	1
MD30230 \$MA_ENC_INPUT_NR[1]	2	2



MD30240 \$MA_ENC_TYPE[0]	1	1
MD30240 \$MA_ENC_TYPE[1]	1	1
MD31020 \$MA_ENC_RESOL[0]	2048(G1)	2048(G1)
MD31020 \$MA_ENC_RESOL[1]	G2 的线数	G3 的线数
MD31040 \$MA_ENC_IS_DIRECT[0]	0	0
MD31040 \$MA_ENC_IS_DIRECT[1]	1	1

表 3-1 设定点交换有关机床参数一览表

## 3.4.2.2 PLC 处理步骤：

通过上述机床参数配置设定点交换功能后，执行该功能则需在 PLC 中完成，主要涉及两个主要的接口信号：

DB31, ... DBX24.5 (改变设定点输出分配)

DB31, ... DBX96.5 (设定点输出分配激活)

下面举例说明 PLC 的具体流程：

初始状态：机床轴 1 控制着驱动；

目标：机床轴 2 取得驱动的控制权；

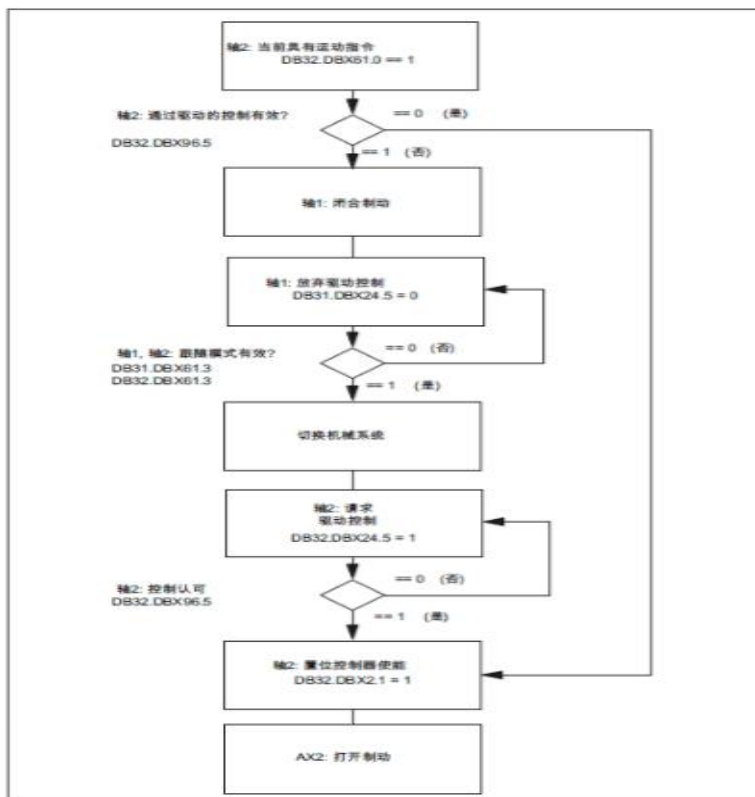


图 3-7 从机床轴的轴1到轴2的设定点交换的图解流程

## 3.4.3 常用机床数据

参见表 3-1

### 3.4.4 调试注意事项

3.4.4.1 必须预先设定选项，否则报警 26018 出现；

3.4.4.2 任何某个时候只有一个具有相应逻辑驱动号的机床轴可以拥有通过该驱动的设定点通道的控制权；

设定点传送时：

所有参与的轴处于静止状态；特殊功能诸如返回参考点、测量、运动到固定点停、函数发生器、星/角转换、驱动参数切换等对于带驱动控制权的轴均无效；PROFIBUS 驱动上没有生命标记错误以及没有故障待定；

设定点交换时，所有参与轴的伺服使能被系统自动撤销；没有驱动控制权的轴不在闭环控制状态，因此必须对垂向轴配置制动控制；

3.4.4.3 如果同时有几个传送请求，设定点交换不会发生，上一个使用该驱动的轴仍保留对该驱动的控制；

3.4.4.4 如果在机床上电时没有传送请求，驱动控制将分配给具有相同逻辑驱动号的第一个机床轴，因此接口信号：

DB31, ... ,DBX24.5 必须预先设定以保证能运动该轴(逻辑驱动号是按照升序扫描的)：

```
MD30110 $MA_CTRLLOUT_MODULE_NR[0,AX1] = 1
MD30110 $MA_CTRLLOUT_MODULE_NR[0,AX2] = 2
MD30110 $MA_CTRLLOUT_MODULE_NR[0,AX3] = 3
MD30110 $MA_CTRLLOUT_MODULE_NR[0,AX4] = 4；上电时的驱动控制
MD30110 $MA_CTRLLOUT_MODULE_NR[0,AX5] = 4
```

3.4.4.5 如果两个机床轴的参数集(参数的套数)不相同，则设定点交换也不会完成；

## 3.5 调试顺序

对于重型龙门铣床来说，与一般铣床的调试步骤相同，大致顺序为：

- 1) 调试 PLC，包括硬件配置、网络通讯的设定、项目下载等等；
- 2) 调试驱动，可以使用 Sinumerik operate 自带的向导，也可以手动配置；
- 3) NC 调试，包括机床参数设定，这其中就包括选项等功能的参数设定，如主从控制、龙门轴等，主从可以先设定主从关系，至于张力等进行优化驱动时再调；
- 4) 优化轴，包括以上介绍的龙门轴的调试和主从的精调；重型龙门铣床的 X 轴是该类机床很关键的一个轴，主从和龙门都会使用，先调整好龙门轴，然后主从的张力消除需要精确调整(利用伺服跟踪)；另外主轴也是很重要的调整部分，包括设定点交换的设定等；
- 5) 精度检测，补偿设定；
- 6) 模具加工时，精优曲面的检验程序以及参数设定的检查；
- 7) 数据备份；

## 4 性能调试

### 4.1 国内机床和国外先进机床的性能指标

国内重型机床制造企业的制造能力很强，但大而不精，其主要原因还是加工设备落后，数控化率很低，尤其是缺乏高精水平的加工设备。同时，国内企业普遍存在自主创新能力不足，因为重型机床单件小批量的市场需求特点，决定了对技术创新的要求更高。国内重型数控机床产品与发达国家著名企业相比仍存在一定差距，产品水平的差距主要体现在：

- (1) 主轴转速国外先进水平已发展到最高达 3000~4000r/min, 而国内主要徘徊在 800~1500r/min.
- (2) 快速进给国外先进水平达 20000~30000mm/min, 而国内主要在 6000~10000mm/min.
- (3) 精度国外先进水平定位精度 0.015/1000mm, 重复定位精度 0.003~0.007mm; 国内产品定位精度 0.025/1000mm, 重复定位精度 0.01~0.015mm.
- (4) 其他机床的可靠性、精度的稳定性、复合多功能、柔性化、智能化方面不如国外厂家，外观质量也有明显的差距。

国内厂家尽管技术略逊于国外先进水平，但在制造能力和价格上有很大的优势，尤其是超重型机床已达到当代国际先进水平。我们相信，我国重型机床制造随着科技进步与艰苦奋斗的努力，一定会逐步缩小与世界先进水平的差距。

### 4.2 重型龙门铣床优化要点

- 1) 调试龙门轴和主从轴时，应注意所有轴的性能参数必须一致，比如：增益(电流环、速度环和位置环)，积分时间(速度环)，滤波器(速度环)，前馈时间，以及 DSC、动态匹配和 JERK 滤波器的使用与否；可使用西门子软件 CMC 进行检查；
- 2) 一般各轴都带有全闭环，因此，Kv 值(MD32200)不会太高，介于 0.2~1 之间，因此，为保证运行精度和动态响应，需要加上前馈功能；
- 3) 重型龙门铣床的常用机构，如齿轮箱、齿轮齿条等，其装配精度和刚性尤其重要，在优化时需要配合机械一起调整；

## 4.3 良好加工状态的轴测试曲线图(ZIMMERMANN FZ32 高壁龙门铣床)

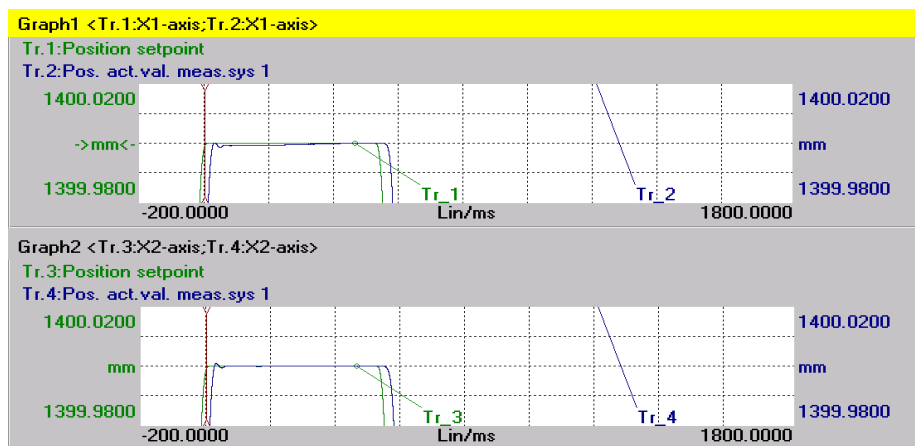
## 1) 速度环 :



## 2) 位置环 :



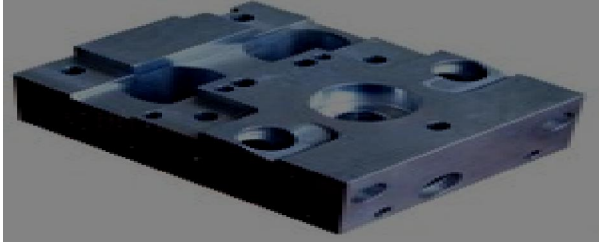
## 3) 伺服跟踪 :



## 5 加工

### 5.1 典型加工件

- 1) 汽车、工程机械等行业使用的典型结构件、箱体类零件：



- 2) 汽车等行业使用的模具件：



### 5.2 编程方式

- 1) 标准 G 代码编程，符合 DIN66025 标准，同时可与 ISO 标准兼容；
- 2) Sinumerik Operate 工步编程，为选项功能，可以快速从蓝图到工件，无需 G 代码知识；
- 3) CAM 软件，生成模具加工程序；(前提是该 CAM 软件带有西门子后置处理)

### 5.3 常用 CNC 指令



## 5.4 试切件关注点（如何判断优劣）

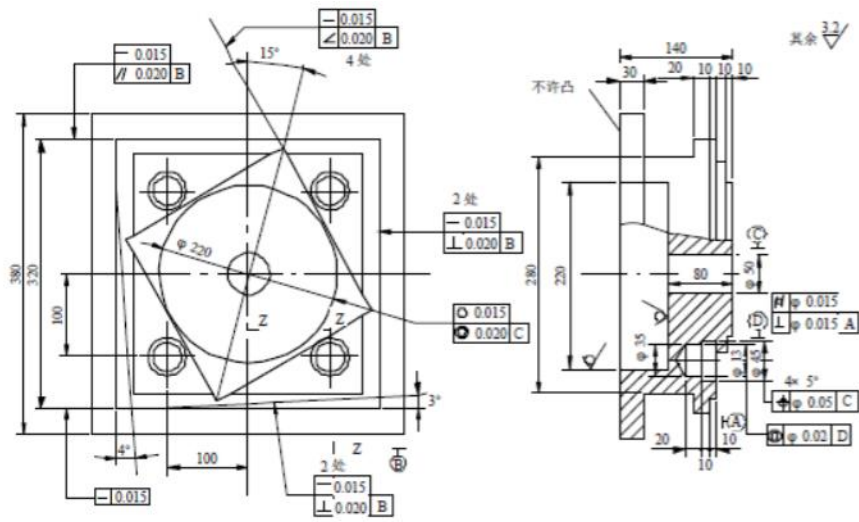


图1 “圆棱方”标准试件

上图为标准加工试切件，评判该试切件的优劣主要根据两个方面：

- 1、精度要求：根据图中各尺寸精度要求进行检验；
- 2、表面光洁度：根据图中要求进行检验，另外无明显表面缺陷；

模具加工件没有固定试切件，比如龙门五轴机床如用于航空应用领域可采用S试

件进行精度和表面光洁度的检验；

除了以上所述，有时机床还对加工效率有所要求，这项指标目前无固定要求；



# 6 附录:

## 6.1 常用术语

## 6.2 重型龙门铣床样本 (国外和国内)

### 6.2.1.1 沈阳机床集团的龙门机床样本:

### GMB 20/25 主要规格技术参数

项目	单位	GMB2030	GMB2040	GMB2540	GMB2550	GMB2560	GMB3060	GMB3080
工作台	工作台尺寸	mm	2000×3000	2000×4000	2500×4000	2500×5000	2500×6000	3000×6000
	立柱间距	mm	2500	2500	3200	3200	3200	3900
	允许最大重量	kg	12000	14000	18000	20000	22000	25000
T型槽尺寸	槽宽	mm	22×11	22×11	28×11	28×11	28×11	28×15
	槽深	mm	11	11	11	11	11	15
加工范围	工作台行程 - X 轴	mm	3200	4200	4200	5200	6200	8200
	滑轨行程 - Y 轴	mm	2700	2700	3200	3200	3200	4000
主轴行程 - Z 轴	行程	mm	1000	1000	1000	1000	1000	1250
	最大	mm	1200	1200	1200	1200	1200	1450
	最小	mm	200	200	200	200	200	200
主轴	转速范围	r/min	40-6000	40-6000	40-6000	40-6000	40-6000	40-6000
	输出扭矩	N.m	1520/45	1800/45	2200/45	2500/45	2800/45	3200/45
进给	切削进给速度范围	mm/min	1-8000	1-8000	1-8000	1-8000	1-8000	1-8000
	快速移动	m/min	10	10	10	10	10	10
刀具	最大刀具长度	mm	350	350	350	350	350	350
	形式		链轮式	链轮式	链轮式	链轮式	链轮式	链轮式
	容量	N	32, 40, 60	32, 40, 60	32, 40, 60	32, 40, 60	32, 40, 60	32, 40, 60
	最大刀盘直径	mm	∅ 125	∅ 125	∅ 125	∅ 125	∅ 125	∅ 125
	相称空刀	mm	∅ 225	∅ 225	∅ 225	∅ 225	∅ 225	∅ 225
	换刀时间 (刀对刀)	s	6	6	6	6	6	6
定位精度	X 轴	mm	0.035	0.040	0.040	0.045	0.045	0.050
	Y 轴	mm	0.030	0.030	0.035	0.035	0.040	0.040
重复定位精度	X 轴	mm	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
	Y 轴	mm	0.018	0.018	0.022	0.022	0.025	0.025
电气总容量		kVA	89	96	103	103	110	110
	数控系统		SIEMENS 840DSL FANUC 31i MOTEC	SIEMENS 840DSL FANUC 31i MOTEC	SIEMENS 840DSL FANUC 31i MOTEC	SIEMENS 840DSL FANUC 31i MOTEC	SIEMENS 840DSL FANUC 31i MOTEC	SIEMENS 840DSL FANUC 31i MOTEC

#### 主输出功率扭矩曲线图

SIEMENS 828D 系统

GMB10 系列产品

SIEMENS 828D 系统

GMB12 系列产品

SIEMENS 840DSL 系统

GMB16/20/25 系列产品

#### 先进、安全、稳定、高效的电气控制系统

机床电气系统采用先进的设计理念和设计技术, 充分结合人工智能学原理广泛应用 CAD 等现代化的设计手段和工具, 使机床性能可靠, 操作方便, 控制自如。

选用德国西门子 820D/840DSL 数控系统, 10.4" 彩色液晶显示器, 数字式交流伺服系统。机床电气系统有效地集成了安全保护功能, 实现了对操作人员和机床的最佳保护。

机床关键电气元件选用知名公司产品, 其它电气元件选用国内或合资的名牌产品, 以保证机床长期无故障稳定运行。

可调整式人性化操作站, 使用灵活方便。

集成的西门子 MCP 机床控制面板, 通过节省接线极大地降低了机床故障率。

配备进口小型手持冲发生器, 方便用户对刀等操作。

配备三色警示灯, 便于实现对机床的有效监控。

在线加工功能 (DNC)。

#### 选择配置

##### 台湾功阳角度头系列

**直角铣头**

N75S1-01 (适用于 GMB10/12 系列)

N75S1-02 (适用于 GMB16/20/25 系列)

功率: 1.1KW

与主轴为手动连接

转速: 2000rpm (正转)

手动进行分度

最大刀具直径: ∅ 150

手动松、夹刀

铣孔 ∅ 24~∅ 75

**90° 万向铣头**

C45-TL03 (适用于 GMB10/12 系列)

C50-TL02 (适用于 GMB16/20/25 系列)

功率: 1.1KW (C45-TL03)

与主轴为手动连接

15KW (C50-TL02)

手动进行分度

手动松、夹刀

最大刀具直径: ∅ 200

铣孔 ∅ 24~∅ 75

**90° 深锥铣头**

A74-TL-02 (适用于 GMB16/20/25 系列)

功率: 1.1KW

与主轴为手动连接

转速: 800rpm (正转)

手动进行分度

最大刀具直径: ∅ 200

手动松、夹刀

铣孔 ∅ 24~∅ 75

**延伸头**

E75N-A03 (适用于 GMB16/20/25 系列)

功率: 1.1KW

与主轴为手动连接

手动进行分度

直径 ∅ 铣孔

手动松、夹刀

#### 标准配置 (GMB20/25 系列)

西门子 840DSL 数控系统	机床电控柜/空轴/真空/冷却	自动润滑
主轴外接冷却站 (冷却机)	切削液 (循环) 系统	刀库
附性发丝	主轴两档 6000rpm 无级变速传动箱	冲冼水枪
三轴编码器反馈	主轴两档风冷滑油功能	双螺旋排屑器
可移动式手持冲发生器	油冷机 (用于主轴链及变速箱冷却)	链式排屑器及顶屑小车
脚踏松、夹刀开关	X、Y 轴防护	
工作灯及警示灯	机床防护罩	

#### 选择配置 (GMB20/25 系列)

法那克 31i 系统
刀库
角度头
三轴光栅尺检测反馈
二轴光栅尺检测反馈
Z 轴行程 1250
主轴内冷及高压水泵
长鼻式主轴 (2.8W, 770Nm)

GMB13

## 6.2.1.2 德国瓦德里希-科宝(Waldrich-Coburg)机床信息:



### PowerTec

The PowerTec is WALDRICH COBURG's largest and most powerful portal machining centre. The modular design of this series lends itself to an extremely broad range of applications. As well as being available in many different sizes, it can be supplied in either a table or a gantry design, with a fixed or height-adjustable crossrail, with a single or double table or in a pallet design and with an integrated rotary table. Alternatively, the machine is available with 3 + 2 axes or as a five-axis milling machine.

The different milling heads combined with the highly-developed WALDRICH COBURG spindle units and the automatic changing systems for tools and spindle units guarantee the efficient machining of an extremely broad range of different workpieces.

Some uses of the PowerTec include power plant and turbine construction, the diesel engine industry and the production of general machinery.

#### Characteristics

Power [kW]:	80/105
Clearance width [mm]:	3,500 - 10,000
Clearance height [mm]:	2,000 - 10,000
Setup length [mm]:	4,000 - 50,000

## 6.3 参考文献

- 1) DoconCD 2013/03 ----- Siemens AG;

